水稻精準農業體系
變率施噴系統之研發與評估
207-218, 2003

變率施噴系統之研發與評估

梁連勝、陸龍虎、徐武煥、黃國祥、蔡致榮*
行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: jrtsay@wufeng.tari.gov.tw

摘要 -- 208
一、前言 -- 208
二、方法簡述 -- 210
三、結果與討論 -- 212
四、結語 -- 215
五、誌謝 -- 216
六、引用文獻 -- 216
ABSTRACT -- 218

變率施噴系統之研發與評估

梁連勝、陸龍虎、徐武煥、黃國祥、蔡致榮*
行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail: jrtsay@wufeng.tari.gov.tw

摘要

一組以專家決策系統事先編製地圖爲基礎之變率施噴系統被研發，以適應台灣稻田之空間變異，使用 Mid-Tech 公司 TASC 6200 主控器之流量控制噴霧系統當主要架構，以執行一般的自動噴霧功能。變率施噴系統之評估已測試了差分全球定位系統(DGPS)接收器之靜態與動態訊號反應、噴藥機施噴流量及噴嘴流量/噴桿樣式。本研究主要結果如下：具有平均靜態誤差大約 1.6 m 與平均 2DRMS 值大約 2.3 m，此差分全球定位系統 RX-400p 接收器之準確度足以用於導航，但尚不足以適用於田間工作。動態準確度測試所得之趨勢與其他的研究者獲致之結果有差異，不過差分全球定位系統的速率資料可用以提供噴霧機速度資訊。 此差分全球定位接收器在行進速度 0.2 至 1 m/s 時，於經緯度方向表現一致而具有平均動態位置誤差 2.23m，而在行進速度 0.4 至 1 m/s 時其平均偏差時間爲 3.48 秒。較高的噴施率及行進速度會導致較高的噴霧機流量誤差，校正係數 153.1 及 155 可用以校正流量計而無明顯之差異。四種噴嘴型式之噴嘴流量/噴桿樣式由於變異係數值皆小於 5%，顯然相當一致，本研究所收集之資料對改良及運用適於台灣情況之變率施噴機具提供極有價值的資訊。

關鍵詞：變率噴霧、差分全球定位系統、稻田、精準農業。

一、前言

傳統之病蟲害防治施噴作業，咸少顧及同一區塊田間之變異需求，而採用不變且預定之施噴率。在這種情況下，無法避免農藥施噴過量與不足。非必要及過量施噴農業化學藥劑，將導致環境惡化增加。另一方面，因施噴農藥不足，必然使農業栽培環境所面臨的病蟲、害防治效果爲之降低。因此，對特定地點，系統僅提供所須之特定噴率將更具有效率，符合效益與經濟原則，並可降低對環境之危害至最小限度。爲符合前述考量，被歸類爲精準農耕範疇之變率技術，已經由全世界許多研究組織大量的研究，並研發各類系統，期以依田間條件施用不同之噴藥率。

本研究主旨在於研發一農藥變率施噴系統，使基於專家決策系統所提供處方圖以適應台灣水田之空間變異。特定目標在於利用國產氣輔噴霧機裝配 Mid-Tech 公司生產，具有流量控制功能之變率施噴系統，以達成自動噴霧功能，並進行 DGPS 接收器動態及靜態訊號反

應、噴霧器流量、噴嘴流量與噴桿噴霧式樣等初期評估。

(一)變率農藥施噴

Ollila *et al.*(1990)以直接噴射式"Field Grid Sense"系統測試液態施藥機，發現它是可行但改變所須噴施率卻顯得遲緩(需 4.6~9.4 秒)。Miller and Smith(1992)建立一套直接噴頭注入式噴桿，模擬藥劑於緊接每個噴嘴之上方流經由小計量口注入。在起始每一變異噴頭之排放濃度可藉由改變計量口間壓力差而達成。然而，在評估後，他們建議使用一組正向位移泵浦取代改變注入壓力差而改變注入流率。Bennett and Brown(1997 and 1999)為了精確使用除草劑，發展並測試一套直接噴頭注入系統，其計量系統包含一排線性作動泵浦，個別對應每一組噴頭，在測試床與定點作物施噴均表現良好。Walker and Bansal(1999)提出農藥變率施噴用噴嘴設計之新概念，宣稱具有降低成本與簡化變率施噴機構複雜性之潛力。可變孔徑噴頭(VON)之孔口大小可因流體壓力之小幅改變而大幅度變化。由於具較小噴施角度，現階段研發之 VON 噴嘴顯然較適合空中施藥機使用，更多研究必須被進行以更進一步決定霧粒大小分佈，以及改善噴霧樣式。

Feltonet *et al.* (1991)基於綠色葉片、地表覆蓋及土壤對太陽輻射之反射特性開發了 Weed Detector 系統，以進行選擇性雜草之點狀施噴。依據在 33 個農場 2681 公頃試區試驗結果，相對於全部處理而言，可節省 90%之施噴面積。Lee *et al.*(1999)發展一種即時智慧型雜草控制機械手臂，以便利用機械視覺與精準施噴進行行間雜草之選擇性殺草劑施噴。機械手臂之視覺系統處理一個影像需時 0.34 秒，使得該系統可在 1.2 km/hr 的連續速率下行進。結果顯示，從蕃茄量產栽培田所取得影像中，73.1%蕃茄及 68.8%雜草可被正確地予以辨識。

為同時控制藥液壓力與噴頭瞬間流量脈寬調變(PWM)，Glies(1997)證實暫時平均藥液流量及由液壓噴霧器噴出霧粒粒徑分佈之獨立控制。此種技術是有用的，因為當噴施藥霧偏離目標移動，可藉由減少藥劑霧粒粒徑中之小霧粒之體積比率而予以降低。然而，在高速氣流通過噴嘴情況下，施噴霧粒之二次碎裂，可明顯降低該技術之效果。在實際田間施噴下，施噴壓力、行進速度及施噴量等因子都會改變，Wolf(2000)分析使用混合脈衝施噴技術以管理施噴霧粒之粒徑；結果顯示，當使用此種系統時，改變某變數對粒徑並無強烈之影響，因此較合理之粒徑控制應可預期。Holtz *et al.* (2000)評估四種使用在農藥與肥料變率施噴用噴霧器調節閥之性能，結論指出 Capstan Sharpshooter^{TM} 基於 PWM 原理使用中級噴嘴(8002 及 8005)展現最佳之多元品質。

(二)田間載具之定位(變率施藥機)

熟知之全球衛星定位系統(GPS)包含應用太空衛星以決定載具之定位，而且無需農友之結構作為(Auerhammer and Muhr,1991)。GPS 係由一羣 24 個衛星及其地面站，所組成遍及全球的無線電導航系統。GPS 使用這些衛星當參考點以計算地球表面位置，其可準確至一公分範圍內。GPS 應用三角定位原理，藉由已知距三個或更多衛星之距離，接收器經由一組方程式可計算出其位置。由三個參考衛星所提供之資訊，係在已知海拔高度計算其經、緯度所必需的；若欲計算包含海拔之資料，則四個參考衛星之資訊是必需的。近年來，由於 GPS 優異之導航能力，已被應用在許多農業用途，尤其是產量監測及農業藥劑(農藥及肥料)之施用。Auernhammer(Wager 於 1999 年報導)提出精準農耕之準確度需求，所謂導航即在協同機械使用情形下尋找農田位置，其精確度達

±10 公尺即已足够。爲達成田間作業及資料之必要取得與紀錄，±1 公尺的精確度是必須的，尤其像收穫作業的小作業寬度情形，可能衍生相當問題，使得較佳準確度是值得擁有的。如果考慮自動導引載具之操作靈巧，例如作業面寬廣之接連迴轉或聯合收穫機作業，精確度±10 公分是必要的。當自動導引雜草控制施噴機具時，精確度需求必須更高。Ayers and Anglund (2000)以基於壓力及噴射噴霧控制技術兩種方式，探討地面噴霧器以固定及變率施噴化學藥劑之田間作業性能，發現他們所使用的 Trimble AG 132 GPS 接收器，具有低於一公尺之靜態準確度及少於一秒之動態誤差。

二、方法簡述

(一)噴藥機改良與施噴系統研發

爲進行水稻之藥劑施噴，改良國產氣輔桿式噴藥機(永三源農機廠產製)並增改其地面距至 1.2 公尺，噴藥機噴桿長 6.73 公尺，但爲與所規劃之田區網格寬 25 公尺相符，僅噴桿的中央 6.25 公尺被使用，噴嘴間距設定爲 0.52 公尺，亦即噴藥機一次作業共有 12 個噴嘴，噴桿系統分爲左、中、右三段，噴藥機以野馬牌 TF160 型柴油引擎(16Hp)作爲動力，具有一只 500 公升藥液筒。

變率施噴控制系統之設計，如圖 1 所示，使用 Mid-Tech 公司製 TASC 6200 主控器當施噴(率)控制器，並有旁通流量調整閥(＃879-0002，3/4 吋，自調範圍)及 WL-51 柱塞式幫浦(29.5~58 公升/分，物理農業機械股份有限公司)，以執行通常的流量控制自動化噴霧功能。爲保持想要之施噴率，控制器使用精巧雷達感應器(＃120-0000-kit)與 1 吋流量計(＃120-0102)分別監控噴藥機之行進速度及農藥流率。安裝於 Acer Travel Mate 525 手提電腦的 Fieldware Suite 程式讀取來自 RX-400p DGPS(差分全球定位系統)接收器之 GPS 信號，定出施噴地圖上噴藥機之位置，並送出該位置想要之施噴率至 TASC 6200 主控器，農藥施噴控制器隨即變更施用率以迎合程式所指定之需求量。以上所提及未經指名之零組件全部來自 Mid-Tech 公司。

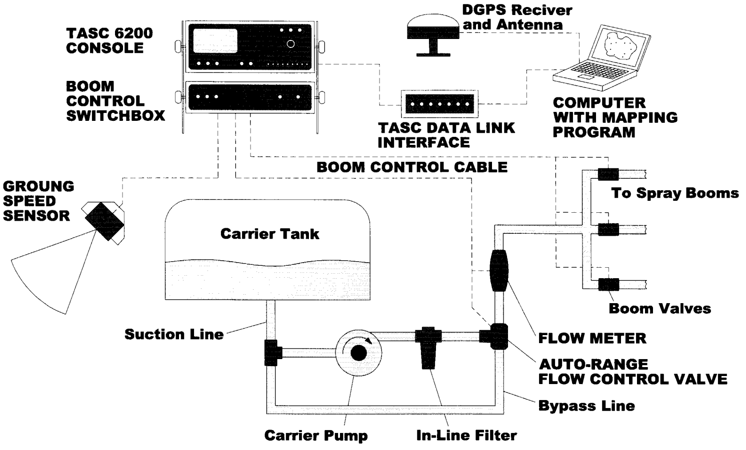

圖 1. 變率施噴控制系統組件。

(二)DGPS 接收器的靜、動態信號反應

GPS 提供關於田間位置最有用的資訊，以供併入圖化與施噴程式，但其精準和準確度必須被加以分析。爲確定 GPS 接收器之有效性，本研究執行靜態和動態準確度試驗。靜態 GPS 試驗係藉由安裝 RX-400p 天線在農試所已知基準點(24°1'56.7033"N，120°41'20.0459"E)上，並連接接收器至 Acer Travel Mate 525 手提電腦而進行。GPS 接收器設定成輸出 NMEA0183GGA 字串，接收器上海岸電台信標 DGPS 組態被用於及時差分修正，手提電腦中 SA Watch 程式(SR Hunting 公司，Allenspark, CO 80510-0505, USA)被設定爲約每隔 15 秒鐘直接擷取並記錄 GPS 數據達 1 小時。爲降低因衛星結構及大氣條件所引起之信號偏差，此試驗於不同的兩天內執行五次。爲了比較，不具有任何及時差分修正之補充試驗亦於單天內實施三次。SA Watch 程式所提供之圓形誤差可能(Circular Error Probable, CEP)及 2 維距離均方根值(2-Distance Root Mean Square, 2DRMS)被用於決定由已知基準點 GPS 信號之位置誤差量。CEP 及 2DRMS 值係以已知基準點爲中心不同圓之半徑值，其分別涵括所測試 DGPS 系統所收到個別位置數據點的 50%與 95%。

RX-400p DGPS 接收器的動態精確度試驗亦於農委會農試所進行，RX-400p 接收器被架設在如圖 2 所示之電控台車上，以追蹤當台車上之接收器經過已知基準點(24°1'44.2387"N，120°41'37.7029"E)時之動態位置，從接收器所收到之數據被以 Acer Travel Mate 525 手提電腦中 CSIGPS 擷取程式加以記錄，並轉換爲格式化文字以求得基於橢球 WGS-84 之經、緯度與高度值。爲決定以不同速度行走接收器之動態位置誤差，一組觸發板及極限開關(TL-Q5MC,Omron 公司)被分別安裝於台車與軌道上，以點亮 LCD(液晶顯示器)並標誌當 GPS 天線經過基準位置點那瞬間，由於 LCD 置於 GPS 接收器上方所以時間顯示與 LCD 可藉由新力牌錄影機(Sony Video Hi8 Handycam)錄影下來，試驗後將錄影機影像轉換爲 mpeg-2 動態影像壓縮標準格式(解析度 640×480)，並重新查看當 LCD 亮起之正確時間，由所測得時間相關大地測量學的經緯度值隨後被以一小程式 LL2XY(Meridmete 股份有限公司)，基於橫截麥卡托式(TM)投影圖法轉換爲 TWD97 的當地座標。就每一回測試而言，動態位置誤差係由接收器所產生之位置值減去基準點座標值而加以計算，GPS 接收器位置資訊偏移時間亦由相關行走速度除位置誤差而求得。就此動態準確度試驗而言，GPS 接收器被設定成輸出如下之 NMEA0183 標準字串：GGA 在 5Hz(赫)、GST 在 1Hz 以及 VTG 在 5Hz。具有速度控制器之台車被安排以約 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 公尺/秒等五種速度從東行進到西，每一種台車試驗速度進行 16 次。

(三)變率施噴系統之評估

爲了解施噴率、行進速度和噴藥機上所用流量計的流率校正係數對施藥機總噴霧流量之影響，刻意進行導引自來水通過系統並進入接水桶之接水試驗(30 至 60 秒)，使用三種施噴率(400.3、799.7 和 1200 公升/公頃)、二種行進速度(1.8 和 3.5 公里/小時)，以及十種校正係數(140、143、146、149、152、153.1、155、158、161 和 164 脈衝/加侖)，每一實驗條件重複執行三次，每一回合水量增加量藉由電子秤(TC-30K 型，精度 5 克，Winner 公司產製)監測並用以計算噴藥機之總流率，隨後以此噴藥機流率試驗結果使用統計繪圖軟體 Statistical Graphic Systems (STSC 公司)進行 95%信賴位準之多重因子變方分析。

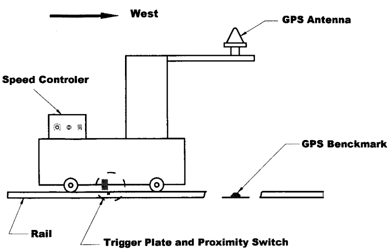

圖 2. **動態** GPS **準確度測試組態**。

數個研究者(PAMI, 1987; Thierstein *et al*., 1991; Ayers and Anglund, 2000)使用變異係數(Coefficient of Variation, CV)分析噴嘴噴霧樣式並決定噴嘴在特定情況下之效力。Thierstein *et al*. (1991)指出噴霧樣式的 CV 值小於 10-12 % 通常被認爲非常好，Prairie 農業機械學會(1987)報導噴霧樣式 CV 值小於 10 % 是非常一致的，當 CV 值介於 10 和 15 % 之間是可接受的，而當 CV 值大於 15 % 則不能接受的。由於一致的噴霧樣式來自於一致的流量通過噴嘴，而且無法獲得測試噴霧樣式的必需設施，在此研究中流經噴桿分段噴嘴流量的 CV 值被分析以取代噴霧樣式 CV 值。此試驗的目的在調查控制系統在穩定狀況下個別噴嘴傳導所需流量率的能力，而自來水被使用當作測試監測流體以限制環境汙染。測試前，施藥機流量被啓動，而且施用率與系統測試速度則依照表 1 所示測試噴嘴而被設定。爲了收集每個噴嘴的出水，12 個 2 公升容量的容器被放置於噴嘴下方 30-60 秒，以電子天平(型式 PE3000，精確度 0.01 克，Mettler 儀器公司)量測之重量增加則用以計算噴嘴流量率，每一種噴嘴型式做 3 重覆試驗。

表 1. **噴嘴流量評估之測試狀況**。

Nozzle Type	Application Rate (l/ha)	Test Speed (km/h)
TeeJet XR11002	750	1
TeeJet XR11003	600	1.9
TeeJet XR11004	500	3.1
TeeJet XR11006	750	3.1

三、結果與討論

DGPS 接收器靜態準確度試驗

圖 3 顯示 SA Watch 程式的範例螢幕畫面。注意所有被蒐集樣本的平均值離基準點只有 0.7 米，而且 99 % 的樣本在基準點 1.7 米的範圍內。此靜態準確度測試結果總結於表 2，其顯示 RX-400p 接收器具來自電台的即時差分修正時其平均誤差近乎 1.6 米，而且平均 2DRMS 值大約 2.3 m，此兩數值是 Ayers and Anglund (2000)以 Trimble AG132 GPS 所得到一米以下精確度數值的兩倍，此不一致的原因未知。根據 Auernhammer(Wagner 報導, 1999)RX-400p 接收器於此處境下使用準確度足以作爲導航，但尚不足以作田間工作。表 2 亦顯示 RX-400 接收器在沒有任何即時差分修正時，其平均誤差近乎 7.8 米，而且平均 2DRMS 值大約 8.4 m，顯然 RX-400p DGPS 沒有任何即時差分修正時表現更糟，比有海岸電台即時差分修正時，CEP 及 2DRMS 值各自被放大到大約 4.9 及 3.7 倍。

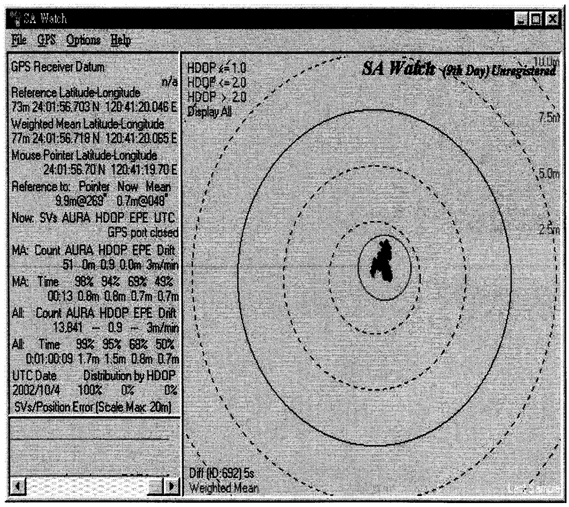

圖 3. SA Watch **程式之範例畫面**。

表 2. 靜態 GPS 準確度測試之結果。

Run #	CEP (m)	2DRMS (m)	Avg. Longitude (deg)	Error (m)	Avg. Latitude (deg)	Error (m)
			Real-time differential correction from the beacon			
1	1.6	1.9	120.688907	0.542	24.032411	-0.731
2	2.7	3.2	120.688924	2.271	24.032411	-0.735
3	1.6	2.8	120.688913	1.153	24.032413	-0.511
4	0.7	1.5	120.688907	0.545	24.032422	0.487
5	1.3	2.1	120.688907	0.544	24.032420	0.265
Average	1.6	2.3	120.688912		24.032415	
			No real-time differential correction			
1	6.9	7.2	120.688907	0.558	24.032478	6.700
2	8.5	8.9	120.688937	3.646	24.032482	7.149
3	7.9	9.0	120.688962	6.134	24.038464	5.148
Average	7.8	8.4	120.688935		24.032475	

DGPS 接收器動態準確度試驗

圖 4 顯示接收器於不同的行進速度時動態位置誤差及相關偏移時間， E_{lon} 和 E_{lat} 各自代表接收器經度和緯度動態誤差。OT_{lon} 和 OT_{lat} 各自代表接收器經度和緯度之偏移時間；RMS 代表起因於位置計算結果殘差的均方根，如圖 4 所示 E_{lon} 和 OT_{lon} 以二階多項式曲線呈現，相關係數達 0.68 及 0.8494 具有可察覺趨勢。此趨勢顯示具有平均值 3.63 米之經度動態位置誤差，在行進速度大約為 0.6 m/s 時具有最小值(2.09m)，而且在較高或較低的行進速度時變大。這與 Ayers and Anglund (2000)動態位置誤差隨速度增加而增加的報告不一致，他們指出誤差偏移在 2.22 和 4.44 m/s 測試時小於 2 米，而且在 6.67 m/s 測試時誤差偏移小於 3 米。經度時間偏移平均為 8.35 秒，並且展現相似的趨勢，但是在行進速度大約為 0.8m/s 時具有最小值(4.42 秒)。由於試驗車定位由東到西，E_{lat} 和 OT_{lat} 並無有意義的趨勢被觀察到。由於只是相對測量而非完全正確估計，具有平均 0.53 米與標準差 0.73 米之位置殘差均方根，顯示其與量測之動態位置誤差並無關連。

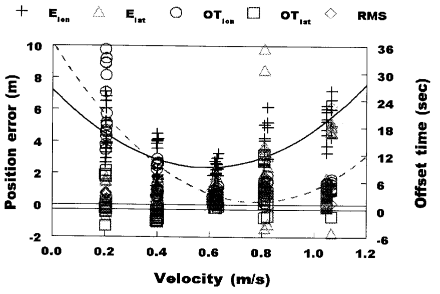

圖 4. 受測 DGPS 接收器之動態位置誤差與偏移時間。

把試驗車定向為從東北至西南並且儘量減短連接線長度以減少不要訊號雜訊之進一步試驗被進行以作再確認。同樣地，在不同的測試速度由大約 0.2 至 1 m/s，測試車通過基準點 6 次。圖 5 顯示受測 DGPS 接收器在 5 種行進速度下具對應標準偏差之平均動態位置誤差及偏移時間，由於動態位置誤差和偏移時間分別被呈現於左邊及右邊座標軸，閱讀此圖仔細留意是必需的。由圖 5 以及經緯度動態位置誤差之單因子變方分析(95 % 信賴位準)，可知並無顯著差異被觀察到，這意味著受測 DGPS 接收器以行進速度由 0.2 至 1 m/s 移動，在經緯度方向表現差不多相同而具有

2.23m 之平均動態位置誤差。同樣地，除了在行進速度爲 0.2m/s 時具平均值爲 10.15 秒偏移時間顯著突出其他者外，動態偏移時間可以被推斷具有相同趨勢，此受測 DGPS 接收器以行進速度由 0.4 至 1 m/s 移動時其平均偏移時間爲 3.48 秒。

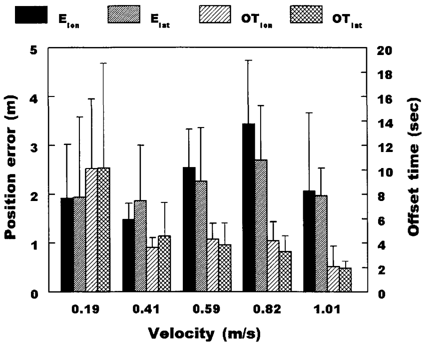

圖 5. 再確認試驗受測 DGPS 接收器之平均動態位置誤差與偏移時間。

在動態精確度測試時，RX-400 DGPS 接收器接收之瞬間速度值也被取樣，並與測試車(其上安裝接收器天線)之眞實量測速度比較，圖 6 顯示量測速度與 RX-400p DGPS 接收器瞬間速度間具高相關係數達 0.9831 之關連線。顯然地，DGPS 接收器瞬間速度與量測速度吻合良好，其暗示 DGPS 接收器之速度數據可用以提供施藥機的速度資訊。

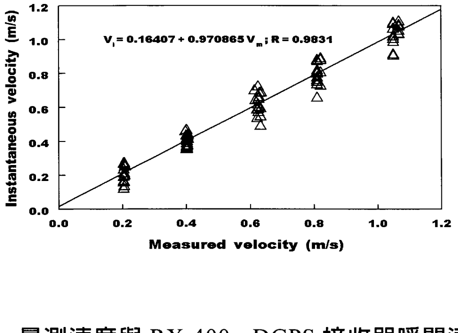

圖 6. 量測速度與 RX-400p DGPS 接收器瞬間速度之關係。

施藥機流量評估

變率施噴系統噴藥流量誤差之多因子變異分析結果敘述如下，三個主要因子施噴率、行進速度及所用流量計的校正係數皆是統計顯著，基於鄧肯多變域分析，三種不同的施噴率被分成如圖 7 所示的三個族群，施噴率愈高有愈高的噴藥流量誤差，在此三施噴率中，只有施噴率 400.3 公升/公頃之噴藥流量誤差 95%信賴區間位於 0 以上，此意味著系統在較高的施噴率下(799.7 及 1200 公升/公頃)可能無法傳送足夠的水。對行進速度而言，類似地如圖 8 所示，兩種測試速度之噴藥流量誤差 95%信賴區間皆位於 0 的下方，並可歸類成兩個族群，測試速度愈高噴藥流量誤差愈高。對此 10 個校正係數而言，可以統計分析區分成 8 個族群，噴藥流量誤差當校正係數增加時由負改變到正。値得注意地是如圖 9 所示，校正係數 153.1 及 155 之噴藥流量誤差 95%信賴區間(標記爲 E 族群)介於±2%。這表示校正係數於 153.1(廠商建議值)與 155 時有最小的噴藥流量誤差，可用來校正使用的流量計而沒有顯著差異。就緊接的噴嘴流量/噴桿樣式評估而言，校正係數係使用 155。

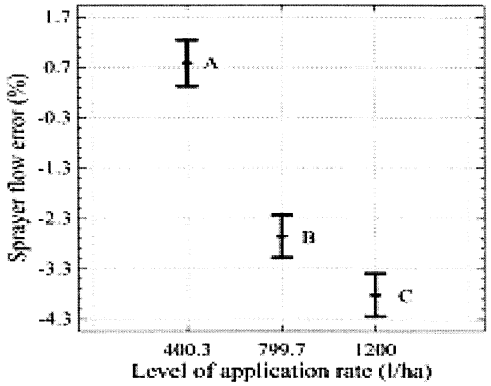

圖 7. 三位準施藥率下施藥機流量誤差之 95%信賴

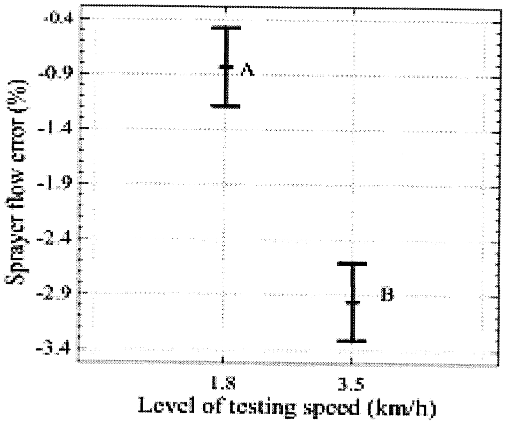

圖 8. 二位準行進速度下施藥機流量誤差之 95%信賴位準平均值圖。

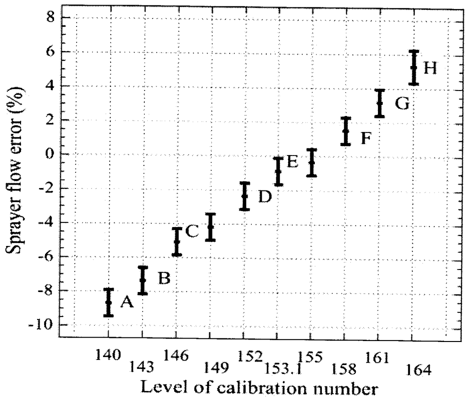

圖 9. 十位準校正係數下施藥機流量誤差之 95%信賴位準平均值圖。

噴嘴流量/噴桿樣式評估

圖 10 顯示變率施噴系統四種不同型式噴嘴之平均噴嘴流量/噴桿樣式，所有狀況下噴桿樣式具有 CVs 值小於 5%係非常均勻如前所述，其中 XR11003 噴嘴之噴桿樣式具有比其

位準平均值圖。

他較大之 CV 值 3.15%，此乃因兩使用過之噴嘴(#5 及#6)不經意地被安裝於測試噴桿上。

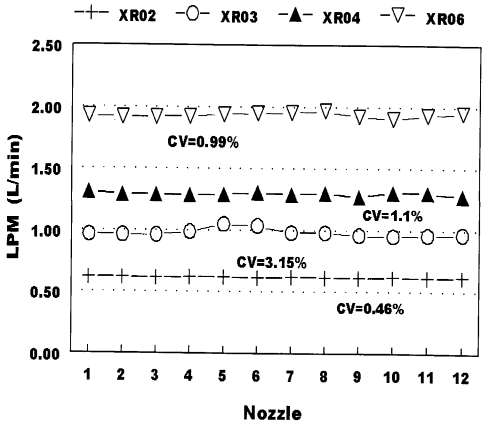

圖 10. 四種不同噴嘴型式之噴嘴流量/噴桿樣式。

四、結語

從靜態準確度測試中，RX-400p 接收器的平均誤差大約 1.6 公尺，平均 2DRMS 大約 2.3 公尺，結果顯示此接收器之準確度足以用於導航，但不足以用於田間工作。RX-400p 差分全球定位儀於沒有任何即時差分修正狀況下，比使用海岸電台做即時差分修正時差，圓形誤差可能 CEP 及 2 維距離均方根 2DRMS 值各自被放大到大約 4.9 及 3.7 倍。從動態準確度測試得到的趨勢與其他的研究者的結果並不完全符合，但是從 DGPS 接收器得到的速率資料應可用於提供噴藥機的速度資訊。再確認實驗中顯示受測的 DGPS 接收器以 0.2 到 1 公尺/秒之行進速度移動時，在經緯度方向表現差不多相同而具有 2.23m 之平均動態位置誤差，而以行進速度由 0.4 至 1 m/s 移動時其平均偏移時間爲 3.48 秒。

較高的施噴率及行進速度有較高的噴藥

流量誤差， 兩個校正係數 153.1 及 155 具有最小的噴藥流量誤差，可用來校正使用的流量計而沒有顯著差異。四種不同噴嘴型式之平均噴嘴流量/噴桿樣式非常均勻一致，CVs 值皆小於 5%。本報告只是初期評估，更多評估必須被進一步進行以加強此變率施噴系統，重點包括使用速度感測器之準確度測試、當某段噴桿噴嘴關閉時剩餘噴嘴流率的變化及田間施噴準確度試驗等。

五、誌謝

本計畫係以『水稻精準農業(耕)體系之研究－92 農科-1.1.6-農-C1』計畫之預算執行，謹此誌謝。

六、引用文獻

Auerhammer, H. and T. Muhr. 1991. GPS in a basic rule for environment protection in agriculture. In: Proc. of the Automated Agricultural for 21st Century Symposium. p.394-402. Chicago, IL: ASAE.

Ayers, P. D. and E. A. Anglund. 2000. Field evaluation of a variable rate liquid chemical applicator. ASAE Paper No. 00-1157. St. Joseph, MI: ASAE.

Bennett, K. A. and R. B. Brown. 1997. Direct nozzle injection and precise metering for variable rate herbicide application. ASAE Paper No. 97-1046. St. Joseph, MI: ASAE.

Bennett, K. A. and R. B. Brown. 1999. Field evaluation of a site specific direct injection herbicide sprayer. ASAE Paper No. 99-1102. St. Joseph, MI: ASAE.

Felton, W. L., A. F. Doss, P. G. Nash and K. R. McCloy. 1991. A microprocessor controlled technology to selectively spot spray weeds. In: Proc. of the Automated Agricultural for 21st Century Symposium. p.427-432. Chicago, IL: ASAE.

Giles, D. K. 1997. Independent control of liquid flow rate and spray droplet size from hydraulic atomizers. Atomization and Sprays 7(2): 168-181.

Holtz, A. J., R. A. Willoughby, M. L. Stone, J. B. Solie and W. R. Raun. 2000. Dynamic response of valves for variable rate application of fertilizers and pesticides. ASAE Paper No. 00-1160. St. Joseph, MI: ASAE.

Lee, W. S., D. C. Slaughter and D. K. Giles. 1999. Robotic weed control system for tomatoes. Precision Agriculture 1(1): 95-113.

Miller, M. S. and D. B. Smith. 1992. A direct nozzle injection controlled rate spray boom. Transactions of the ASAE 35(3): 781-785.

Ollila, D. G., J. A. Schumacher and D. P. Froechlich. 1990. Integrating field grid sense system with direct injection technology. ASAE Paper No. 90-1628. St. Joseph, MI: ASAE.

Prairie Agricultural Machinery Institute. 1987. Flex-coil model 562 field sprayer. Evaluation Report 527. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Thierstein, G. E., N. Zhang, L. Wang and D. K. Kuhlman. 1991. Pattern testing of spray nozzles used to apply fertilizers and pesticides. ASAE Paper No. 91-1539. St. Joseph, MI: ASAE.

Wager, P. 1999. Problems and potential economic impact of precision farming. In: Proc. of the 7th International Congress for Computer Technology in Agriculture. Firenze, Italy. Available at http://www.weihenstephan.de/ui/veroeff/pf/pf_cc98.htm.

Walker, J. T. and R. K. Bansal. 1999. Development and characterization of variable orifice nozzles for spraying agro-chemicals. ASAE Paper No. 99-1008. St. Joseph, MI: ASAE.

Wolf, R. E. 2000. The influence of changing application volumes on droplet size using blended pulse spraying technology. ASAE Paper No. 00-1122. St. Joseph, MI: ASAE.

Development and Evaluation of a Variable Rate Spraying System

Lien-Sheng Liang, Lung-Hu Lu, Wuu-Huann Shyu,
Guo-Shiang Hwang and Jyh-Rong Tsay*
Division of Agricultural Engineering, ARI, COA, Taichung, Taiwan, ROC.
E-mail：jrtsay@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

A variable rate chemical application system based on prescription maps from an accompanying expert decision system was developed to accommodate in-field spatial variability of paddy fields in Taiwan. A flow-based spraying system using a TASC 6200 console by Mid-Tech®, Inc. was used as the main frame to perform the general automated spraying functions. Preliminary evaluation of the variable rate spraying system was performed by testing Differential Global Positioning Systems (DGPS) receiver static and dynamic signal responses, sprayer flow, and nozzle flow/boom pattern. Main conclusions drawn from this study were stated as follows. With an average static error of approximately 1.6 meters and an average 2-Distance RMS of approximately 2.3 meters, the used RX-400p receiver is accurate enough for navigation, but not sufficient for field work. The trend obtained from dynamic accuracy tests does not coincide with that from other researchers. However, the velocity data from the DGPS receiver may be used for providing speed information of the sprayer. The re-verification experiments showed that the tested DGPS receiver moving with a traveling speed varied from 0.2 to 1 m/s behaved almost the same in both longitude and latitude with an average dynamic position error of 2.23 m. The averaged offset time for the tested DGPS receiver moving with a traveling speed varied from 0.4 to 1 m/s was found to be 3.48 seconds. The higher the application rate and traveling speed, the larger the sprayer flow error. Both calibration numbers, 153.1 and 155, with minimal sprayer flow error can be used for calibrating the used flow meter without significant difference. The nozzle flow/boom patterns of four nozzle types with CVs less than 5% were very uniform. The data collected provided valuable information for improving and implementing variable rate application suitable for Taiwan's situations.

Key words: Variable rate spraying, DGPS, Paddy field, Precision farming.